LPQI: Astronomía Cuántica desde La Palma

Elena Fernández García (& the LPQI Collaboration)
Instituto de Astrofísica de Andalucía CSIC

27–29 de octubre | IBERGRID 2026 | SANTIAGO DE COMPOSTELA

https://lapalmaqi.es/

LPQI es una colaboración internacional entre Italia, Países Nórdicos, Taiwan y España:
Telescopios en el ORM, centros de investigación, universidades, socios tecnológicos y agencias de investigación unen sus capacidades para desarrollar la nueva frontera científica en astronómica basada en tecnologías cuánticas.

Dos formas de detectar la luz

Un sensor estándar en astronomía nos dice cuánta luz llega; un sensor SPAD registra cuando llega cada fotón.

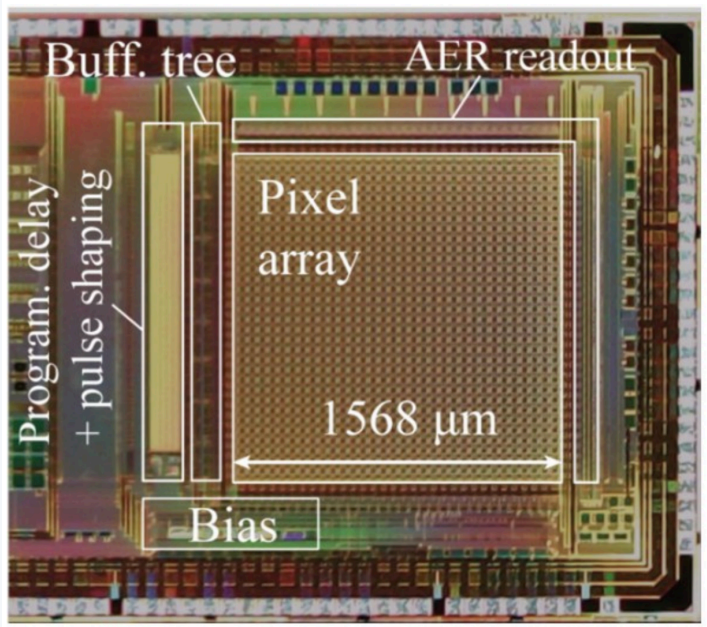
Sensor estándar — acumula durante un tiempo la señal producida por muchos fotones

Sensor SPAD — es un microchip que detecta los fotones uno a uno y registra con una precisión en el rango de los picosegundos cuando llega cada fotón

¿Por qué importa para el LPQI? — permite comparar la llegada de fotones a los telescopios separados entre sí

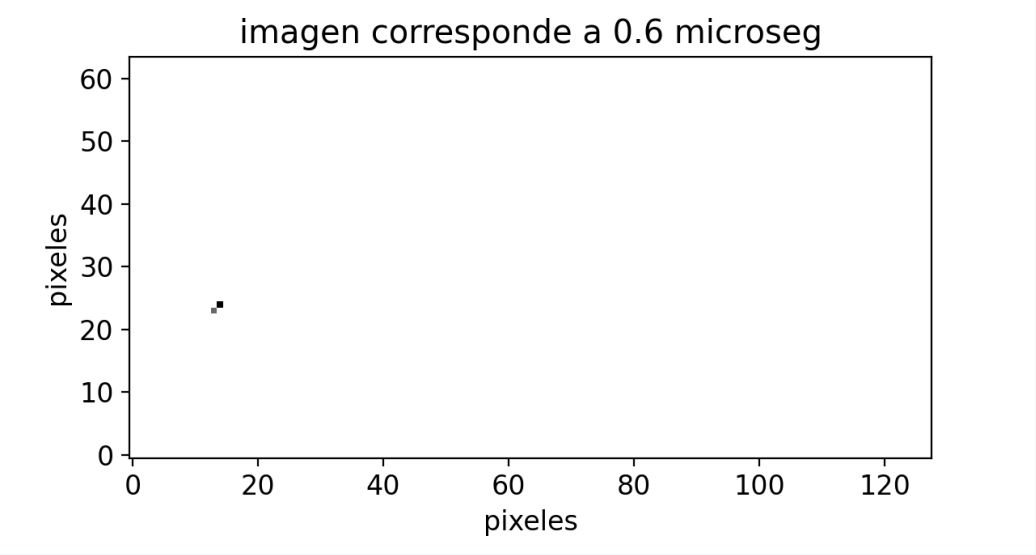
El LPQI necesita — tecnología de sincronización (White Rabbit)entre telescopios con precisión de picosegundos mediante fibra óptica

El reto — desarrollo de sensores SPAD, espectrógrafos, sincronización, electrónica ultrarrápida y análisis de datos mediante IA



Microchip SPAD utilizado en el desarrollo del LPQI (IMSE-US/CSIC)

1 picosegundo = una billonésima de segundo → 0.3 mm recorridos por la luz



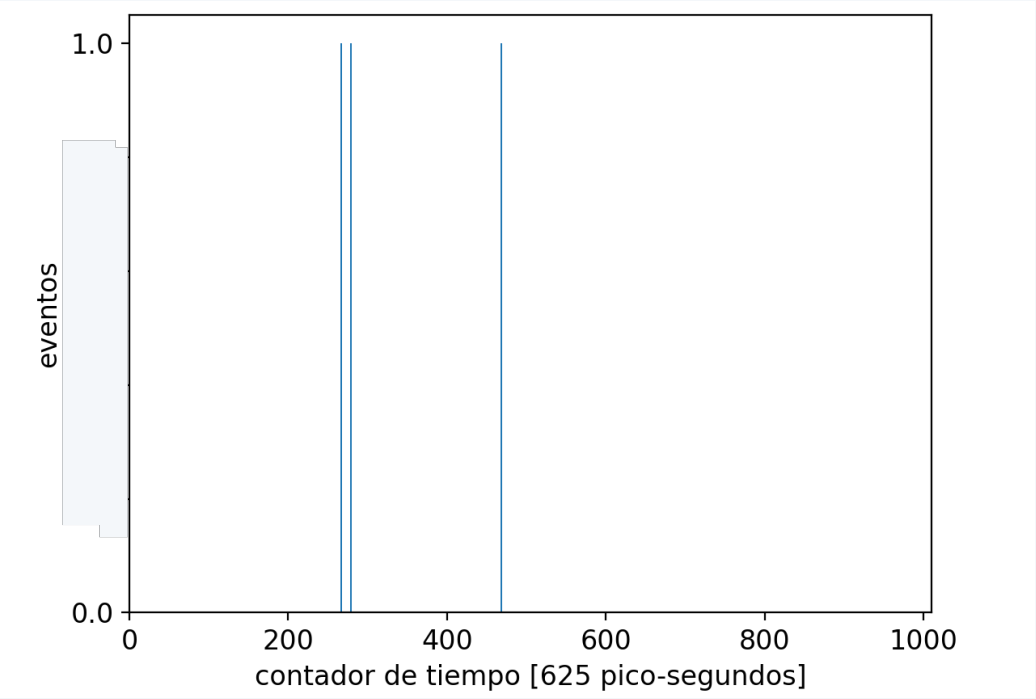
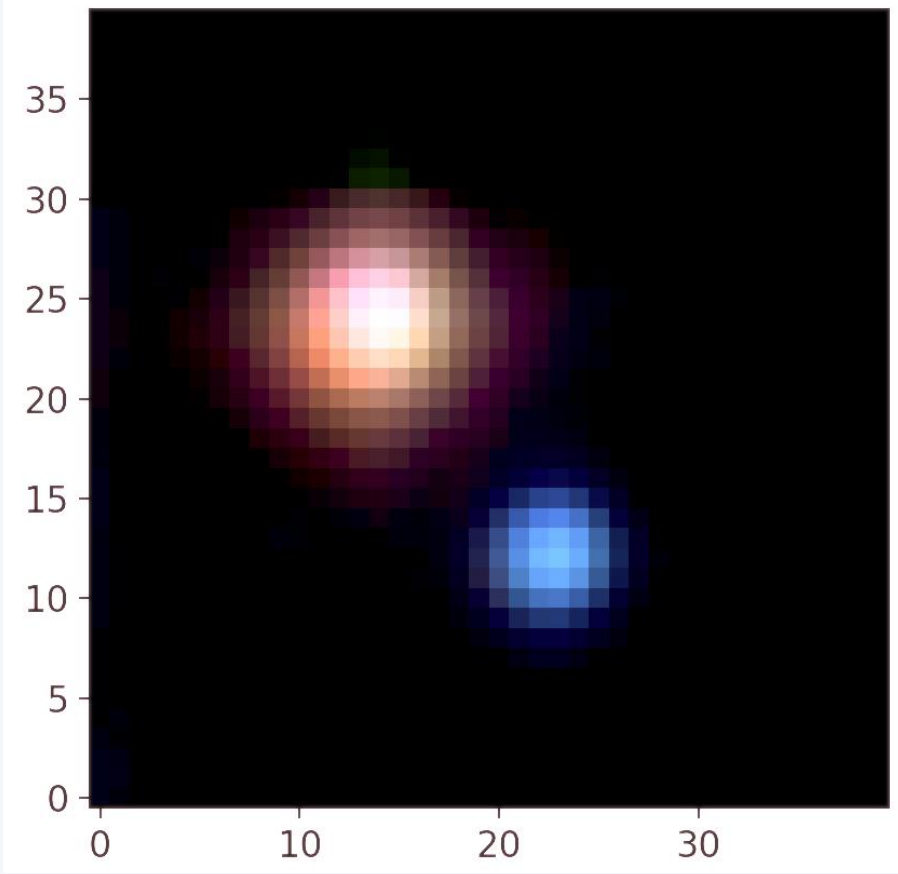


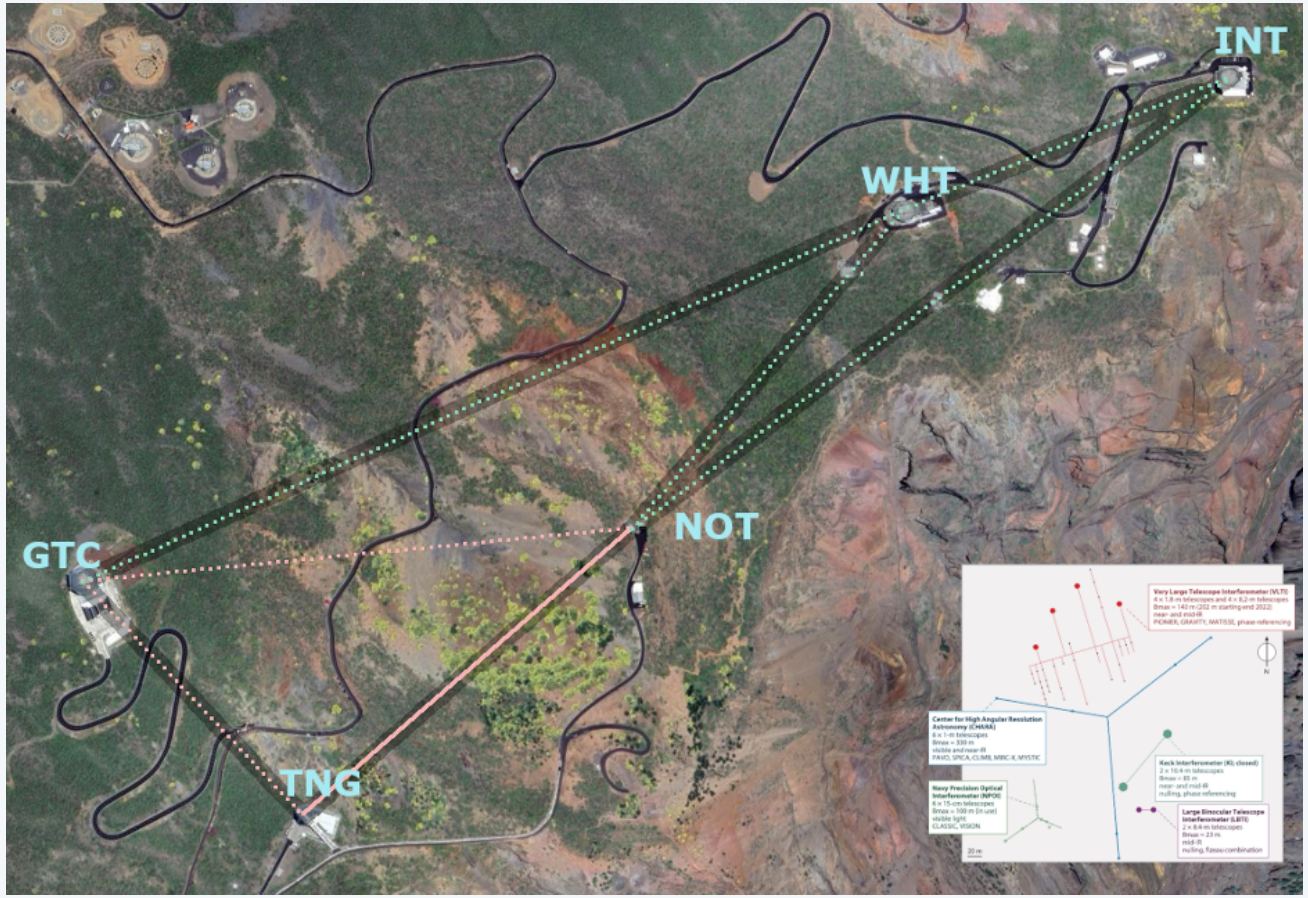
Imagen RGB de 6 segundos de observación: 3,3 millones de exposiciones por filtro × 16.400 bytes por exposición = 54 GB por filtro. Para 3 filtros (RGB): 3 × 54 GB = 162 GB de datos.



Observaciones de Albireo A y B con un prototipo SPAD de HAMAMATSU 3D-BSI de 64 × 128 píxeles y telescopio de 150 mm en el campus UAM. Publicación en preparación - Colaboración UAM–HAMAMATSU.

El Interferómetro Cuántico de La Palma

Cinco telescopios conectados y sincronizados para crear un instrumento singular



Un reloj común
El sistema de sincronización permite comparar los fotones registrados por telescopios diferentes

Un instrumento distribuido
Se correlacionan los tiempos de llegada de los fotones registrados por los cinco telescopios

Línea de base de 1.5 km
La separación GTC–INT es de 1.5 km, permitiendo ver 1000 veces más detalle que el Hubble

Tecnología Cuántica
Sensores SPAD, electrónica ultrarrápida, sincronización de picosegundos

La interferometría de intensidad mide cómo se correlaciona la llegada de fotones a telescopios separados y permite distinguir detalles extremadamente pequeños en el cielo

Correlaciones de fotones entre telescopios: la nueva frontera

Telescopios conectados pueden resolver cuestiones científicas fuera del alcance de un telescopio individual



Agujeros negros de origen estelar



Planetas como la Tierra

LPQI permite ver 1000 veces más detalle que el Hubble:

- Detección de exoplanetas del tamaño de la Tierra mediante pequeñas variaciones en la correlación espacial de la luz estelar
- Estudio de cómo los agujeros negros de origen estelar capturan materia
- Observación directa de los efectos de la gravedad y campos electromagnéticos extremos en agujeros negros y estrellas de neutrones
- Superficies y diámetros de estrellas

Una línea de base kilométrica permite estudiar escalas angulares inaccesibles para un telescopio individual

The Pathfinder demonstrates LPQI's feasibility

A well-defined implementation that reduces technical and organisational risks.



LPQI-Pathfinder

- Build two SPAD single-filter cameras for the NOT and TNG telescopes, separated by 550 metres
- Validate the detectors, electronics, synchronisation, cameras and software, and obtain the first science results
- Installation at NOT–TNG on December 2027
- Obtain the first interferometric results in spring 2028, with an angular resolution of 150 μas

LPQI roadmap: phased growth to a facility

2025-2026 | 2027-2028 | 2029 | 2030 | 2035

SPAD, readout, criogenics cameras & synchronisation
- New SPAD 64x64
- Thermal and QE tests
- Readout and sincronization tests
- Data system

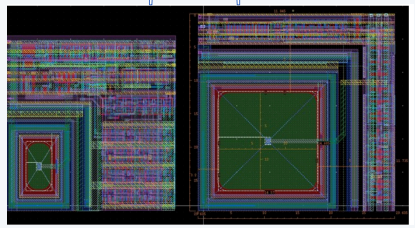
LPQI-Pathfinder
- Construction and first light of SPAD optical cameras at TNG and NOT for narrow-band intensity interferometry

Large format 2k x 2k SPAD
- Laboratory tests
- Verification

LPQI – Phase I
- First large-format SPAD on FIRNAS spectrograph mounted at the INT

LPQI – Phase II
Full LPQI facility
- Five telescopes with similr spectrographs
- Maximum number of baselines
- 50μas resolution

SPADs



3% (current) → 25% (new) fill factor + microlenses 100% fill factor

2D SPAD technology, IMSE-US/CSIC

3D BSI large format SPAD for astronomy:

- CDTI-Teledyne CPP contract to deliver a large-format 3D-BSI SPAD sensor on March 2029: First Phase completed and currently under evaluation. IAA-CSIC supervises technical validation, including laboratory tests, via a CDTI-CSIC Agreement.
- HAMAMATSU collaboration with EPS-UAM & IAA-CSIC.

Cofinanciado por la Unión Europea
Fondos Europeos

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

LPQI es más que un proyecto científico: crea un programa transdisciplinar de tecnología

Un reto científico que crea capacidades, talento e impacto social

Ciencia: astronomía cuántica

Sinergias: comunicaciones cuánticas y fotónica para ciencias marinas

Tecnología: microchip SPAD, fotónica, sincronización, electrónica e IA

Talento: formación práctica en tecnologías transformadoras

Industria: colaboración y transferencia

Sociedad: Contribuye al desarrollo sostenible del territorio

LPQI no solo utiliza tecnología avanzada: crea un entorno para desarrollarla, validarla y transferirla

Procesamiento y almacenamiento de datos

- Data rate: 250 Tb por noche (cada uno de los 5 telescopios genera unos 50 terabytes por noche).
- Análisis: IA/GPU.
- Almacenamiento (Solid State): Solo para el análisis de los datos (un par de petabytes).

2 posibles soluciones para el procesado de datos:

Transferir los datos desde La Palma a un centro de supercomputación (como CESGA)

- Transferir los datos desde La Palma a un centro de supercomputación (por ejemplo el CESGA)
  - Si la velocidad de transferencia es de 10 Gb*s —> tardaría 2.5 días en transferir 250 Tb.
  - Si tuviéramos ESnet para el nuevo LHC se tardaría 30 minutos (a una velocidad teórica de 1Tbit/s)

In situ, se van borrando los datos tras procesarlos en un intervalo de 30 minutos

Necesitamos algoritmos de IA para analizar todos los datos y producir los productos de las correlaciones cruzadas de los fotones entre los telescopios.

Proyectos Prácticas

- Sincronización de Tiempo con precisión de picosegundos usando la tecnología WhiteRabbit instalada en el Observatorio del Roque de los Muchachos para el desarrollo de una plataforma de software para la monitorización y control de calidad de los datos de tiempo.
  Estancia en las oficinas del NOT en Breña Baja o Erasmus+ en Dinamarca

- Ciberseguridad. Aprovechando nuestro contacto con el instituto IOF Fraunhofer de Jena, Alemania realizar una estancia Erasmus+ para un proyecto en ciberseguridad cuántica.

- Desarrollo de un proyecto de software para la integración de la Cámara SPAD (microchip) en el sistema de control del telescopio TNG en Breña Baja

- Proyecto de Marketing para diseñar la estrategia de comunicación del impacto social que tendrá el desarrollo de la tecnología del proyecto LPQI en la isla de La Palma



Congreso Futuro 2026, Enero, Chile

Matt Mountain,

Presidente de la Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), EE.UU.

Visión de futuro para redes cuánticas de telescopios



«Si podemos desarrollar tecnologías cuánticas en Chile, podemos entrelazar estos telescopios para crear un sistema singular», señaló Mountain. Esta red cuántica de telescopios, distribuidos por las llanuras del norte del país, permitiría construir imágenes de tal resolución que no solo veríamos un «punto azul» a la distancia, sino que se podrían distinguir **océanos, continentes e incluso ciudades** en planetas que orbitan otras estrellas.